

УДК 629.7.05 (075.8)

Д.А.Янушкевич (6 курс, каф. ИСУ), А.А.Андреев, к.т.н., доц.

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

В [1,2] разработан и описан метод оценки погрешности систем управления летательными аппаратами (СУ ЛА) с доверительной вероятностью 0,997 по объему статистики, достаточному для вероятности 0,95.

Целью настоящей работы являлась проверка достоверности работы метода для различных классов распределений, помимо распределения Гаусса, а также проверка «сшива» полученных составных распределений по первым производным.

Метод основан на особом свойстве 0.95-ой квантили, заключающемся в ее устойчивости для большинства распределений, имеющих место в практике проведения измерений. В результате имеется возможность создать распределение, которое состоит из нескольких. Данное распределение позволяет с приемлемой точностью получить необходимые статистические оценки.

Так как нашей задачей является оценка худшего случая поведения «хвостов» составного распределения, то необходимо выбрать максимально-энтропийное распределение. Таким распределением является экспоненциальный закон Лапласа:

$$f_a(x) = \left( \frac{a}{\sigma_s} \right) \exp \left[ - \frac{|x|}{\sigma_s} \right], \quad (1)$$

В зависимости от того, «хвосты» какого распределения мы будем оценивать, будут меняться коэффициенты Лапласа. При этом не следует забывать и об условии нормировки, т.е.:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1, \quad (2)$$

где  $f(x)$  – наше составное распределение:

$$f(x) = \begin{cases} f_a(x), & x \in (-\infty; x_1) \\ f_H(x), & x \in [x_1; x_2], \\ f_a(x), & x \in (x_2; \infty) \end{cases}, \quad (3)$$

а  $x_1$  и  $x_2$  – значения погрешности, соответствующие квантилям, относительно которых производится усечение нашей функции.

Исследовались распределения Вэйбулла, Накагами, более глубокое исследование проведено для распределения Гаусса. Результаты, представленные ниже, получены путем математического моделирования с различными параметрами. Результаты усреднены и приведены к удобочитаемому виду.

Распределение Вэйбулла описывается формулой:

$$P(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x - \Theta}{\alpha} \right)^\beta \right], \quad (4)$$

где  $\alpha$  – масштабный множитель,  $\beta$  – коэффициент формы,  $\Theta$  – параметр положения.

Исходя из соображений (2) и (3), получаем составное распределение. Затем сравниваем полученные результаты с первоначальным, исследуемым распределением.

Распределение Накагами описывается формулой:

$$P(x) = A \exp \left[ -\frac{\beta \cdot x^2}{\sigma^2} \right]. \quad (5)$$

В случае распределения Вэйбулла получаем:

- среднее отклонение на уровне «3-х сигма» – около 0,5%;
- максимальное отклонение на уровне «3-х сигма» – 1.5%.

В случае распределения Накагами получаем:

- среднее отклонение на уровне «3-х сигма» находится в пределах 1%;
- максимальное отклонение на уровне «3-х сигма» – 2.5%.

Более глубокое исследование распределения Гаусса показало, что при использовании

предлагаемого метода максимальное отклонение (т.е. абсолютно худший случай) составит 17.5%.

Рассмотрена работа метода при использовании различных классов распределений, применяемых в технике. Проведено математическое моделирование для проверки полученных математических выкладок. Полученные результаты показывают эффективность применения разрабатываемого метода при распределениях Гаусса, Накагами, Вэйбулла.

Математически выведено числовое показание абсолютно худшего случая при распределении Гаусса.

Метод может найти применение при экспериментальной отработке и эксплуатации СУ ЛА, а также в тех областях науки и техники, где необходимо производить точные и дорогостоящие измерения. Предложенный метод позволяет практически на порядок сократить объемы испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреев А.А., Потехина Е.В. Метод сокращения объема испытаний для САУ на основе минимаксного критерия // Сб. научных трудов. Вычислительная техника, автоматика, радиоэлектроника. СПбГТУ, 1994.
2. Андреев А.А., Янушкевич Д.А. "Метод сокращения объема испытаний при отработке и эксплуатации систем управления летательными аппаратами" // Сб. материалов межвузовской научной конференции. СПб. Изд. СПбГПУ, 2003.